放射線医学総合研究所
技術報告書

NIRS

www.nirs.go.jp

NIRS Technology

NIRS Technology, vol.2 (2008) 68 – 74.

X 線発生装置 TITAN-320 型における線量測定結果

三井 大輔*[1,2]、酢屋 徳啓[1]、石川 剛弘[1]、磯 浩之[1,2]、今関 等[1]

1)研究基盤技術部放射線発生装置利用技術開発課、2)株式会社ネオス・テック

Received 9 July 2008

要旨

2008 年 3 月上旬、放医研 X 線棟第 3 照射室に前 X 線照射装置 PANTAK HF-320 型の後継機として X 線発生装置 TITAN320 型が設置された。装置更新に伴い、X 線発生装置 TITAN-320 型の線量測定を実施した。X 線管焦点と照射台間距離(FSD)を変更することによって、3.51～0.21 Gy/min の範囲で照射が可能であり、高線量照射用回転テーブルを照射台に設置すると 5.00 Gy/min 以上(FSD235mm、照射野 100 mm)での照射が可能であることが確認された。

Keywords: X 線、X 線発生装置、線量率、空気吸収線量、照射野、電離箱、Focus Sample Distance (FSD)、半価層、実効エネルギー、イメージングプレート

Corresponding Author:
三井 大輔 (Daisuke Mitsui)
e:mail: d_mitsui@nirs.go.jp

1.はじめに

TITAN-320 型は PANTAK HF-320 型の後継機として導入されたので、できるだけ PANTAK HF-320 型と同じ照射条件で実験ができるよう、装置仕様は工夫した。PANTAK HF-320 型はここ数年、マシントラブルを頻繁に起こすだけでなく、主要部品の生産停止に伴いメーカーのサポートを受けることができなくなってしまったことなどが、今回の装置更新に至った理由である。

2.TITAN-320 型概要と測定機器

2.1 TITAN-320 型の特徴

TITAN-320 型は米国 GE 社製であり、電動シャッター機構や一部制御パネルは島津製作所によって製作されている。主な特徴として、X 線照射線量が多い、高い安定性・再現性、簡単な操作、高機能ウォームアッププログラム、保護警報機能などが上げられる。主な仕様は連続定格出力最大 200 kV 21.8 mA、高速開閉シャッター装備、10 種類の Filter から 1 種類を装着、X 線管上下ストローク 1200 mm(床上 700 mm～1900 mm)、X 線管回転角度は垂直方向 360° ・直角方向 100° 、照射台寸法 700×700 mm(天板材質アクリル)・積載重量 20 Kg、高線量照射用回転ステージ装備(取り外し可能)である。図 1 は TITAN-320 型の外観写真である。

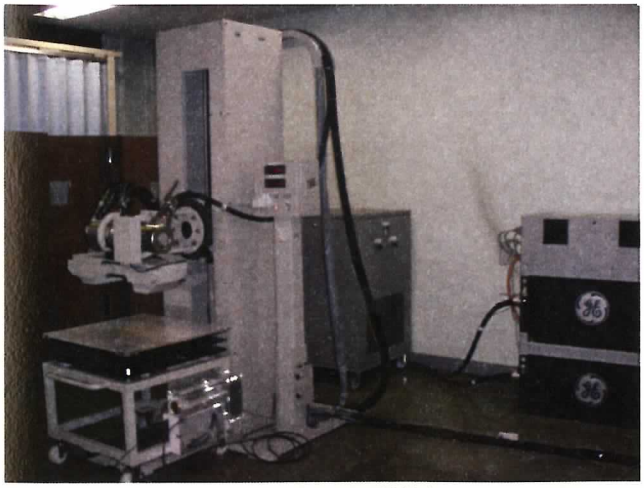

図 1 TITAN-320 型外観。

2.2 X 線管

X 線管はスイス国 COMET 社製の MXR350-26 メタルセラミック X 線管球である。焦点寸法は小焦点 d=3.0 mm・大焦点 d=5.5 mm(切替式)、定格出力 4.2 kW、照射窓材質 3.0 mm ベリリウム、ターゲット材質はタングステン、ターゲット設置角度 20° 、照射角 40° 、冷却媒体は油、丸型コリメーターを装備、筐体は円筒型であり横 546 mm、直径 168 mm という仕様である。

2.3 測定機器

今回の線量測定には応用技研製 JARP 型電離箱 C-110 を使用した。主な仕様は主電極 0.5 mmφ、高圧電極 0.5 mm 厚アクリル樹脂、実効容量 0.6 ml である。電離箱からの出力は応用技研製電位計 AE-130L にて電圧として読み取る。AE-130L はアナログ出力であるため、AE-130L を横河電機製マルチメーター756101 に接続しデジタル値にて計測している。電離箱 C-110、電位計 AE-130L、横河電機製マルチメーター756101 を 1 組として、2 年毎に産業技術総合研究所にて校正を行っている。産業技術総合研究所での校正結果を表 1 に示す。その他に、線量分布を視覚にとらえることができる、FUJIFILM 社製フルオロイメージングアナライザーFLA-5100 とイメージングプレート BAS-MS2025(以下、IP)も使用した。

表 1 産業技術総合研究所による校正結果。

管電圧 (kV)	線質 (keV)	半価層 (mm)	校正定数 (Gy/V)	不確かさ (%)
200	80	1.01 Cu	0.851	1.2
175	70	0.73 Cu	0.847	1.2
150	60	0.48 Cu	0.843	1.2
125	50	0.30 Cu	0.842	1.2
100	40	4.52 Al	0.844	1.2

3.照射野の調整

3.1 IPによる線量分布の確認

照射野の調整作業は、X 線管架台と照射台の水平確認作業から始めた。照射台の水平が保たれていない状態では、照射野として表示している同心円が歪んでしまうからである。X線管架台と照射台の水平が保たれている時を初期状態とし、IP にて線量分布の確認を行った。その結果を図 2 に示す。IP は高感度なため、通常の照射条件(管電圧 200 kV、管電流 20 mA)では読み取り限度を超えてしまうので、読み取り限度超えぬような照射条件に変更する必要があった。今回は管電圧 80 kV、管電流 5 mA、照射時間 6 sec、Filter4.5 mm Cu + 0.5 mm Al、FSD550 mm という条件にて照射を行った。図 2 からは照射野全体が照射台中心点(+)より右方向にあるということが確認できた。

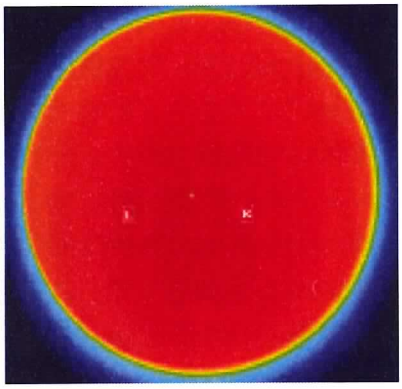

図 2 照射条件 80 kV・5 mA・6 sec・
FilterCu4.5 mm+Al0.5 mm での線量分布

3.2 電離箱を用いた線量分布測定と照射野決定

3.1 では IP を用いて線量分布の確認をした。放射線発生装置利用技術開発課では焦点線量率の 90%を満たすことのできる点を照射野としてユーザーに保障しているので、ここでは電離箱を使用し、より精密に中心を合わせていくことを試みた。測定条件は管電圧 200 kV・管電流 20 mA・FilterCu0.5 mm+ Al0.5 mm・FSD 550 mm・測定時間 60 sec とした。+方向とは照射台中心から右側、-方向は左側である。FSD 550 mm X 軸では照射台中心の 1.068 Gy/min が最も高い線量率であった。焦点線量率の 90%を満たす点は、+方向 105 mm0.965 Gy/min (90.3%) 、 - 方向 -95 mm0.960Gy/min (90.0%)という結果であった。双方向でのバランスが非常に悪く、＋方向へ片寄っていることがわかった。±方向とも均一な距離をとれるよう調整する必要がため、X線管を右方向へ傾けていき、左右のバランスを調整した結果、+方向 100 mm の点で 0.968 Gy/min (90.1%)、-方向は-100 mm の点で 0.967 Gy/min (90.1%)という結果となり左右のバランスをとることができた。この時点で X 線管は右方向へ 1° 傾いており、ここで固定した。FSD 550 mm での X 軸方向の照射野は+100 mm ～ -100 mm と決定した。Y 軸方向も X 軸と同様に調製した結果、+方向 110 mm の点で 0.971 Gy/min (90.5%)、-方向は-110 mm の点で 0.972 Gy/min (90.6%)となった。Y 軸のほうが X 軸より大きく照射野をとることができるが、これでは照射野が楕円になってしまうため、X軸と同様に+100 mm ～ -100 mm と決定した。Y 軸の+方向とは照射台中心から奥側、-方向は手前側である。よって FSD 550 mm での照射野は直径 200 mm であり、線量率は 1.07～0.97 Gy/min となった。その結果を図 3～6 に示す。

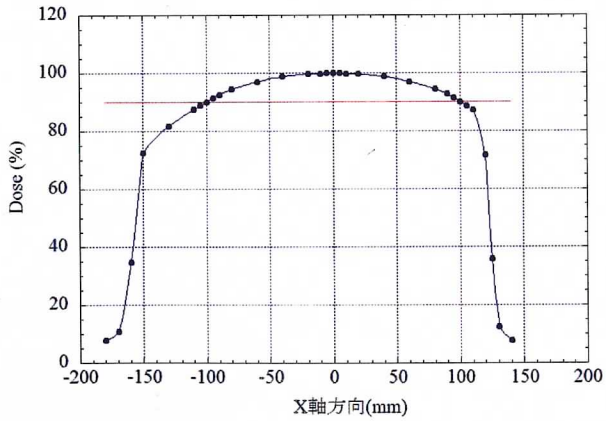

図 3 TITAN-320 型の X 軸線量分布(FSD=550 mm)。

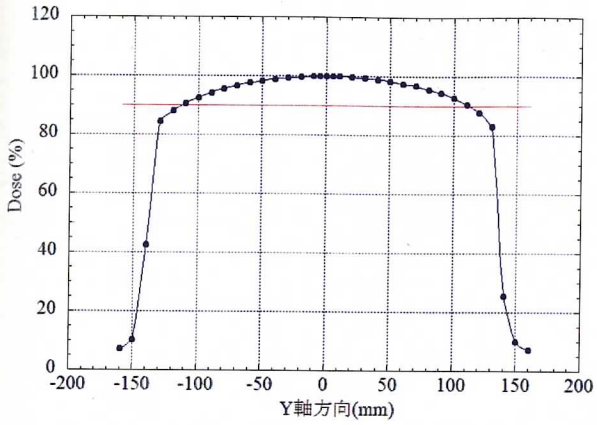

図4 TITAN-320型のY軸線量分布(FSD=550 mm)。

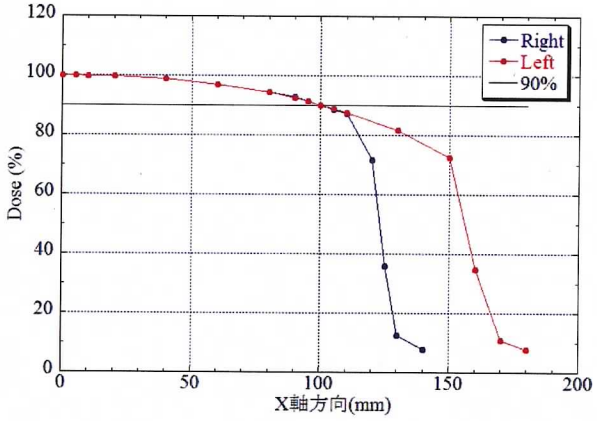

図 5 ITAN-320 型の線量分布左右対称性(X 軸)。X 線管を右方向に傾けているため、線量分布全体の対称性はない。有効照射野である焦点線量率の90 %を満たす線量域ではほぼ左右対称である。

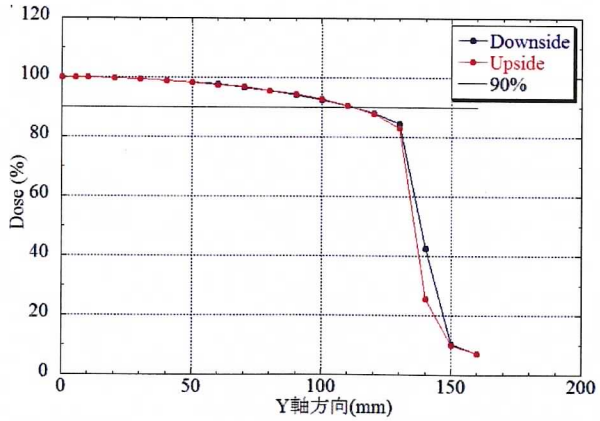

図 6 TITAN-320 型の線量分布左右対称性(Y 軸)。

4. ビーム中心軸

3.2 の作業により焦点と照射台物理中心とを合わすことができ、上下左右のバランスも調整作業が終了したので、次いで各 FSD (300～1200 mm)でのビーム中心軸の変化を測定した。図 7 にビーム中心軸の線量分布を示す。照射台からの散乱線などの影響で逆二乗則とは異なる結果となった。中心軸を測定したことにより、90%を満たす線量率を算出することができ、各 FSD 照射野の線量率を決定した。各 FSD での照射野半径は双方の関係グラフを作成し、その傾きから求めた。その結果を表 2 に示す。

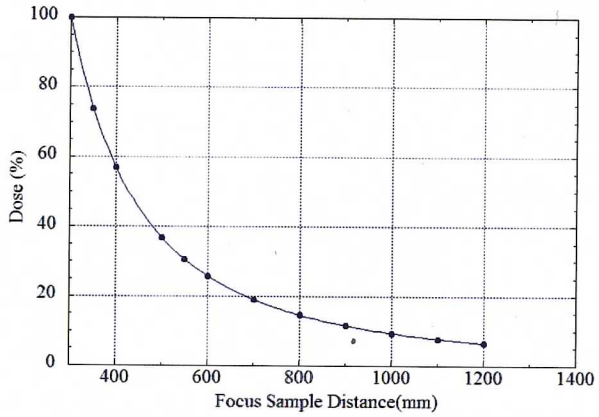

図 7 TITAN-320 型のビーム中心軸線量分布。

表 2 各 FSD での照射野直径と線量率。

FSD (mm)	照射野直径 (mm)	線量率 (Gy/min)
300	100	3.51～3.16
400	140	2.00～1.81
500	180	1.30～1.17
550	200	1.07～0.97
600	220	0.91～0.81
700	260	0.66～0.59
800	300	0.51～0.46
900	330	0.41～0.37
1000	370	0.33～0.30
1100	400	0.27～0.24
1200	440	0.23～0.21

5. 半価層の測定

TITAN-320 型の通常運転時の照射条件(200 kV、20 mA、FilterCu0.5 mm+Al0.5 mm)にて銅の半価層測定を行い、実効エネルギーを求めた。X 線管焦点と線量計間距離は 1 m とし、双方の間に半価層測定用コリメーターを設置した。コリメーターからの散乱線が入射しないよう、コリメーターは出来る限り X 線管に近づけて測定を行った。半価層の測定は周囲の壁や床からの散乱線が線量計の入射しないよう考慮しなければならないが、この条件でも照射装置の設置位置や照射場の広さなどの関係から散乱線の影響はあると思われる。半価層の測定結果を図 8 に示す。求めた実効エネルギーは 85 keV であり、他の Filter でも同様の測定を行った結果、FilterCu1.0 mm+Al1.0 mm 挿入時は 99 kev、FilterCu0.3 mm+Al1.0mm 挿入時は 78 keV である。

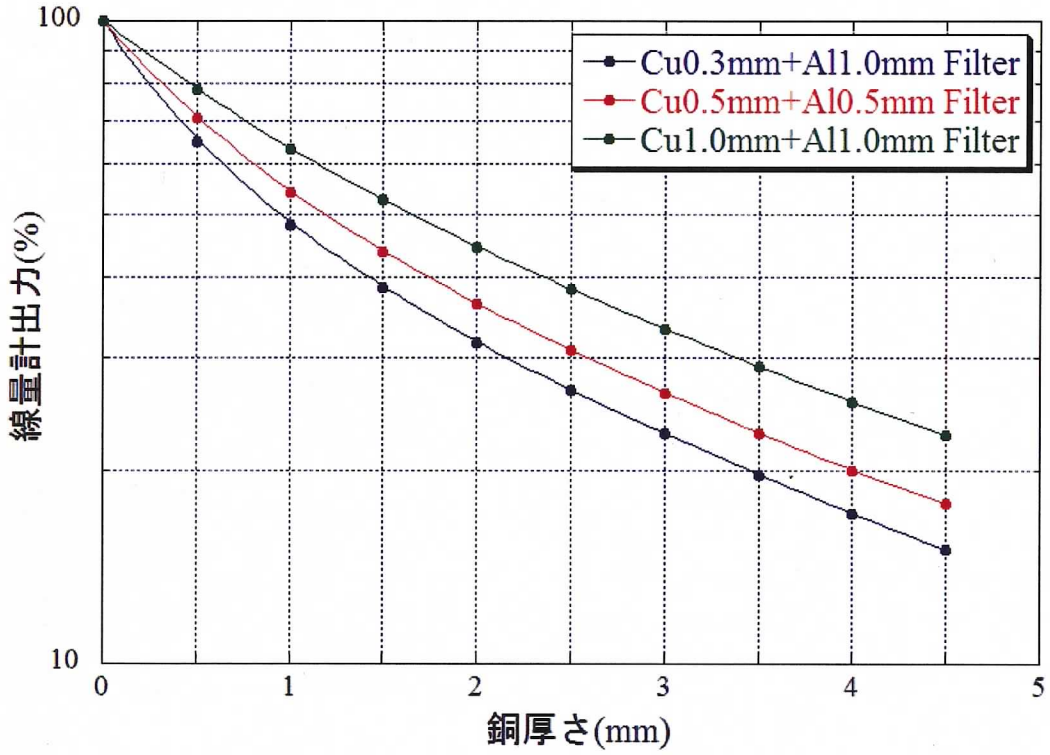

図 8 TITAN-320 型　各 Filter 減弱曲線。

6. 管電流特性

TITAN-320 型は管電圧 200 kV 時に管電流を 1～21.8 mA の範囲で変更(0.1 mA ステップ)することができる。X 線管焦点-照射台間距離(FSD)の変更とともに管電流を変更すれば、更なる低線量照射が可能である。管電流に対する線量率の変化を電離箱 C-110、電位計 AE-130L、横河電機製マルチメーター756101 にて測定した。測定条件は管電圧 200 kV・管電流 20 mA・Filter0.5 mm Cu + 0.5 mm Al・FSD550 mm・測定時間 60 sec とした。測定結果を図 9 に示す。管電流と線量率は比例関係にあり、管電流 20 mA を 100%としたとき、管電流を 75%に下げると線量率も同様に下がることがわかった。

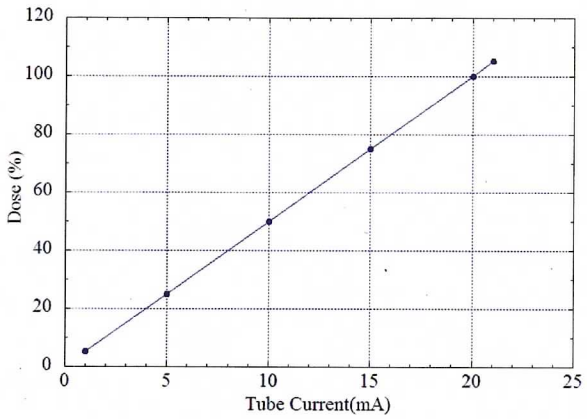

図 9 TITAN-320 型 管電流と線量率の関係。

7. 高線量照射用回転テーブル

TITAN-320 型は FSD を変更することで、3.51～0.21 Gy/min の範囲で照射が可能であり、X 線管焦点と照射台間距離は最大で300 mm まで近づけることができる。更に照射台に高線量照射用回転テーブルを置くことで、X 線管焦点と照射台間距離を 230 mm まで近づけることができ、5.00 Gy/min 以上(照射野 100 mm)での照射が可能である。高線量照射用回転テーブルの主な仕様は寸法 φ200×200(H) mm、重量 10 Kg 以下、耐荷重 500 g、回転機能つき(回転速度 2 rpm)となっている。図 10 は照射台に高線量照射用回転テーブルを設置した時の写真である。

高線量照射用回転テーブル設置時の線量分布を電離箱 C-110、電位計 AE-130L、横河電機製マルチメーター756101 にて測定した。測定条件は管電圧 200 kV・管電流 20 mA・FilterCu0.5 mm+Al0.5 mm・FSD235 mm・測定時間 60 sec とした。測定結果を図 11 に示す。図 10 を見ると、X 線管と高線量照射用回転テーブル間の距離がかなり近いことがわかる。10 cm シャーレを 1 つ設置するスペースしかなく、電離箱での測定はかなりの工夫が必要であった。ビーム中心の線量率は 5.68 Gy/min であり、高線量照射用回転テーブル上は焦点線量率の 90%を満たす線量域である。

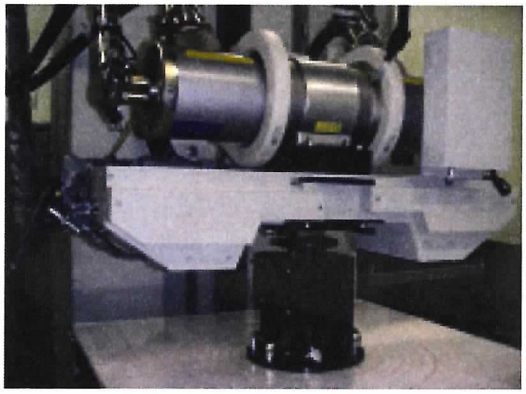

図 10 TITAN-320 型照射台と高線量照射用回転テーブル

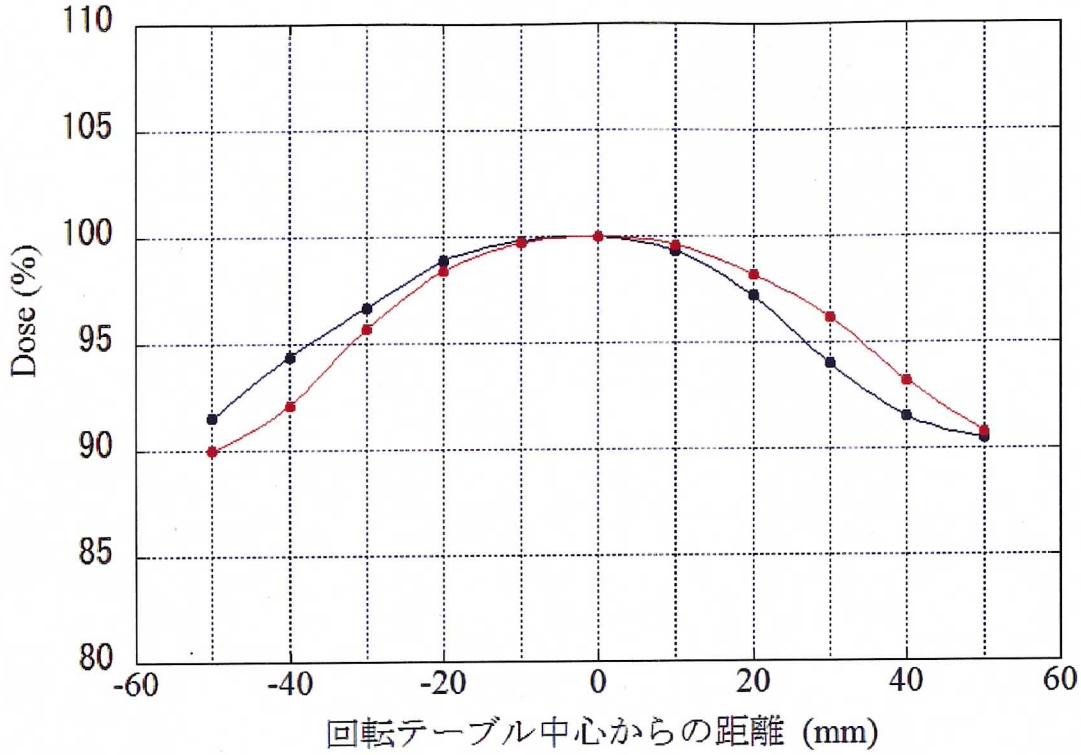

図 11 TITAN-320 型高線量照射用回転テーブル上での線量分布。青線は X 軸線量分布、赤線は Y 軸線量分布である。

8. まとめ

今回の測定で X 線発生装置 TITAN-320 型における、基礎となるデータはとり終えた。しかしながら高線量照射用回転テーブル設置時の測定方法や、線量測定手順など、課題が多く残されている。等線量曲線の作成、各付加 Filter の半価層測定が残っているので、順を追って測定する予定である。また、TITAN-320 型は一部の照射方法でしか使用されておらず、実際には付加 Filter の変更やコリメーターの設置など、様々な照射方法(条件)がある。様々な照射条件の測定データを技術報告書や放射線発生装置利用技術開発課ホームページにて報告し、TITAN-320型をより深く知ってもらうことができるように努めたい。

引用文献

[1] 平岡武、三井大輔、石川剛弘、濱野毅、宮原信幸、軟X線の線量測定、医用標準線量 Vol.12 No.2(2007)

[2] 島津製作所、TITAN-320 型取扱説明書

[3] 山田勝彦 著、放射線測定技術、通称産業研究社(2005)

[4] 立入弘 編、診療放射線技術、南江堂(1973)

[5] 阪井英次 訳、放射線計測の理論と演習、上下巻、現代工学社(初版 1986)